

# **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ**

УДК 621.74.06

Абдулгузина И. Р., Матвеев С. В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
i.railevna@yandex.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛИ ЗВО МНЛЗ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Аннотация.** В работе изложены этапы исследования способов охлаждения разливаемой стали в МНЛЗ. Отмечены основные направления использования тепловой энергии, отводимой от стали в процессе разлива. Намечено основное направление использования отводимой теплоты для генерации электроэнергии.

В настоящее время металлургические предприятия потребляют около 14 % топлива и 12 % всего объема вырабатываемой в России электроэнергии. Черная металлургия является наиболее энергоемкой отраслью промышленности, при этом из-за неэффективного использования энергоресурсов имеется огромный потенциал энергосбережения, достигающий 30 - 40 % существующего уровня энергопотребления. Энергосбережение становится одним из приоритетных направлений в энергетике, определяющим ее эффективность и энергетическую безопасность [1].

Основным направлением повышения энергетической эффективности в черной металлургии, по мнению [2, 3], является повсеместное использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), преимущественно для генерации электроэнергии, как одного из востребованных в настоящее время энергоносителей. Так одним из ВЭР на предприятиях черной металлургии является теплота разливаемой стали [4]. В настоящее время около 98 % всей производимой стали в мире (свыше 1,4 млрд. т/год) разливается в машинах непрерывного литья заготовок [5].

Основными рабочими узлами МНЛЗ являются:

- кристаллизатор;
- зона вторичного охлаждения (ЗВО).

Технологически жидкая сталь поступает в МНЛЗ с  $t = 1600^\circ\text{C}$ , и на выходе из машины слитки имеют среднемассовую температуру  $t = 800^\circ\text{C}$ , при этом отводится тепловая энергия в количестве 850 МДж/т. Около 700 МДж/т [6] отводится в ЗВО МНЛЗ водовоздушной смесью, подаваемой из форсунок непосредственно на поверхность сляба. Вода при попадании на поверхность заготовки ведет себя неоднозначно: часть при контакте с поверхностью раскаленной заготовки вскипает и отводится в виде пара атмосферных параметров в окружающую среду, другая часть собирается в капли и стекает с поверхности с температурой,

близкой к температуре кипения. Такая система с технологической точки зрения не в полной мере выполняет свое предназначение [7, 8]. Энергетически вся отведенная теплота от стали отводится в окружающую среду на низкотемпературном уровне, не превышающем 100 °С.

Известно решение по использованию теплоты разливаемой стали в МНЛЗ для нужд горячего водоснабжения и теплоснабжения [9, 10]. При этом направление использования теплоты стали для теплоснабжения не находит широкого применения, ввиду сезонных нагрузок и низкой потребности производства в данном виде нагрузок [11].



Рис. 1. Принципиальная энерготехнологическая схема процесса охлаждения и затвердевания стали в ЗВО МНЛЗ

Технологически МНЛЗ для разливки 1 т стали в МНЛЗ затрачивается около 2 кВт·ч электроэнергии (рис. 1), которая поступает из сетей предприятия. Использование отведенной теплоты от стали в ЗВО для генерации электроэнергии могло бы позволить частично или полностью покрыть потребление из внешних сетей собственным источником.

В работах [5, 12] были предприняты попытки использования теплоты, отводимой от стали для генерации пара и электроэнергии.

В работе [5] было предложено решение по использованию теплоты стали в кристаллизаторе МНЛЗ для генерации электроэнергии путем замены охлаждающего теплоносителя. В результате такого мероприятия возможно сгенерировать около 14 кВт·ч/т разливаемой стали. Однако, следует заметить, что в работе рассматривался только кристаллизатор. Рассмотрение ЗВО не подразумевалось из-за сложностей отвода теплоты, связанных с обилием механического оборудования тянуще-правильного устройства (ТПУ).

В работе [12], был рассмотрен отвод теплоты для получения влажного насыщенного водяного

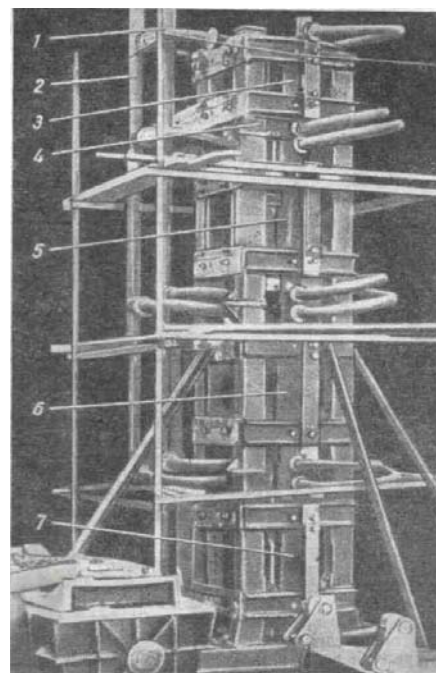


Рис. 2. Вторичное испарительное охлаждение МНЛЗ

- 1 – подводящий коллектор;
- 2 – отводящий коллектор;
- 3 – первая секция холодильников;
- 4 – опорные колонны;
- 5 – вторая секция холодильников;
- 6 – третья секция холодильников;
- 7 – четвертая секция холодильников

пара путем испарительного охлаждения. Такое решение возникло в 70-е г. 20 века. Профессором МЭИ Андоньевым была разработана система испарительного охлаждения, применительно к ЗВО МНЛЗ (рис. 2) [12].

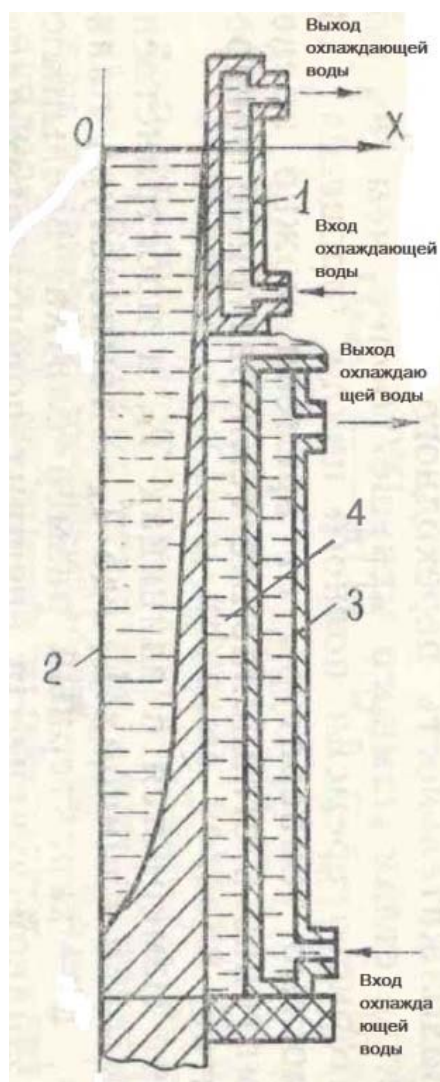


Рис. 3. Охлаждение стали в ЗВО с применением жидких металлов

- 1-кристаллизатор;
- 2-сталь;
- 3-вторичное охлаждение водой;
- 4-жидкий металл для охлаждения.

Это решение нашло применение только для МНЛЗ вертикального типа, а для машин радиального типа (наиболее распространенных в настоящее время) оно трудно применимо. Решение заключалось в создании холодильников с внутренним испарительным охлаждением вокруг разливаемого слитка. При этом пар испарительного охлаждения на выходе из системы имел низкие параметры 0,1-0,3 МПа и степень сухости около 0,9. Использование такого рабочего тела в турбинах влажного пара для вертикальных МНЛЗ может позволить сгенерировать некоторое количество электроэнергии, но в настоящее время это мероприятие не нашло промышленного применения.

Известно решение по применению теплоносителей с металлической связью (жидко-металлических – ЖМТ) во вторичной зоне охлаждения слитков (рис. 3) [13].

Однако, такое мероприятие преследовало технические задачи по повышению качества разливаемых заготовок, энергетической направленности в данном решении не было обозначено.

Так, если организовать охлаждение слитка в ЗВО МНЛЗ ЖМ-теплоносителями в энергетической области производства перегретого пара (до 600 °С), то такое мероприятие может позволить посредством рабочего агента генерировать электроэнергию.

По предварительным результатам при КПД паротурбинной установки 40 %, возможно сгенерировать около 80 кВт·ч с каждой тонны разливаемой стали в ЗВО МНЛЗ.

Исследования способов охлаждения стали в ЗВО не завершены и эффективность указанных направлений генерации электроэнергии не оценивалась. Такие исследования будут продолжены в дальнейших работах.

#### Список использованных источников

1. Никифоров Г. В., Олейников В. К., Заславец Б. И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. М. : Энергоатомиздат, 2003. 480 с.
2. Данилов О. Л., Мунц В. А. Использование вторичных энергетических ресурсов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 154 с.
3. Журавлев Ю. П., Копцев Л. А. Организация и методы энергосбережения в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Промышленная энергетика. 2010. № 10. С. 6-13.

4. Михайлов В. В., Гудков Л. В., Терещенко А. В. Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. М. : Энергия, 1978. 224 с.
5. Аловадинова Х. Н., Демин Ю. К., Матвеев С. В., Картавец С. В. Повышение энергетической эффективности процесса непрерывной разливки стали // Промышленная энергетика 2015. № 2. С. 8-11.
6. Абдулгужина И. Р., Матвеев С. В., Картавец С. В. Источник электроэнергии – теплота разливаемой стали в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 16-19 декабря 2014 г. Екатеринбург : УрФУ, 2014. С. 46-47.
7. Салихов З. Г., Ишметьев Е. Н., Газизов Р. Т., Салихов К. З. Математическое моделирование механизма использования охлаждающей воды в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2010. № 3. С. 59-62.
8. Контроль процесса теплоотдачи от сляба в зоне вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок / С. В. Зверев, Н.И. Шестаков [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. 2007. № 5. С. 61-66.
9. Использование низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов при непрерывной разливке стали / М. Я. Якобсон, М. М. Лоринов, Б. Ф. Степаненко, З. А. Мурадова // Проблемы энергетики теплотехнологий : тезисы докладов 2-й Всесоюзной научной конференции, М., 1987. С. 9.
10. Лукин С. В., Поселожный Д. Н., Кибардин А. Н. Использование теплоты охлаждения стали в системе теплоснабжения предприятия // Промышленная энергетика, № 5. 2013. С. 7-9.
11. Куперман Л. И., Романовский С. А., Сидельковский Л. Н. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности. К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. 303 с.
12. Андоньев С. М. Испарительное охлаждение металлургических печей / М.: Металлургия, 1970. 424 с.
13. Соболев В. В., Трефилов П. М. Процессы тепломассопереноса при затвердевании непрерывных слитков. Красноярск : Изд-во Красноярского университета, 1984. 264 с.

УДК 620.97

Абдуллин Р. Р., Скисов Г. Н., Филипповский Н. Ф.  
Уральский федеральный университет  
george.skisov@mail.ru

## **АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ОГНЕВОГО ЛИСТА КОТЛА УТИЛИЗАТОРА ЗА ПЕЧЬЮ ВАНЮКОВА**

**Аннотация.** Разработана и верифицирована по полученным ранее экспериментальным данным модель для расчета температурного поля в огневом листе котла утилизатора. Получены и проанализированы температурные поля в огневом листе при различных условиях работы котла.

В работе [1] приведены результаты экспериментальных замеров термических сопротивлений передачи теплоты от огневого листа к охлаждающей воде,